饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响[1]

王 静[1] 张海华[1] 徐逸男[1] 李仁德[1] 张雪蕾[1] 崔 虎[2] 乜 豪[2] 李光玉[1*]

（1.中国农业科学院特产研究所，特种经济动物分子生物学国家重点实验室，长春 130112；

2.中国农业科学院饲料研究所，北京 100081）

摘 要：本试验旨在研究在钙磷比固定的条件下，饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响。选取（60±5）日龄健康短毛黑公水貂 117 只，随机分成 9 组，每组 13 个重复，每个重复 1 只。试验采用 3×3 双因素随机试验设计，饲粮钙磷比固定为 2，设 3 个维生素 D 水平，分别为 2 100、4 100、6 100 IU/kg，3 个钙水平，分别为 2.3%、2.7%、3.1%，共配制 9 种试验饲粮，9 种饲粮的钙与维生素 D 水平分别为 2.1%与 2 100 IU/kg（Ⅰ组）、2.1%与 4 100 IU/kg（Ⅱ组）、2.1%与 6 100 IU/kg（Ⅲ组）、2.7%与 2 100 IU/kg（Ⅳ组）、2.7%与 4 100 IU/kg（Ⅴ组）、2.7%与 6 100 IU/kg（Ⅵ组）、3.1%与 2 100 IU/kg（Ⅶ组）、3.1%与 4 100 IU/kg（Ⅷ组）、3.1%与 6 100 IU/kg（Ⅸ组）。预试期 13 d，正试期 60 d。结果表明：1）饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂的末重、平均日增重、料重比均有极显著的影响（$P<0.01$），末重、平均日增重均以Ⅷ组最高，Ⅰ组最低，料重比以Ⅷ组最低，Ⅰ组最高。2）育成期水貂脂肪消化率组间差异极显著（$P<0.01$），Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ组极显著高于Ⅶ、Ⅷ组（$P<0.01$）。饲粮钙水平对育成期水貂干物质排出量有显著影响（$P<0.05$），以钙水平为 3.1%时最高；饲粮钙水平对育成期水貂脂肪消化率有极显著影响（$P<0.01$），钙水平为 3.1%时极显著低于钙水平为 2.3%和 2.7%时（$P<0.01$）。饲粮维生素 D 水平极显著影响育成期水貂的干物质排出量（$P<0.01$），以维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时最低；饲粮维生素 D 水平显著影响育成期水貂的干物质消化率、脂肪消化率（$P<0.05$），二者均以维生素 D 水

收稿日期：2017-04-18

基金项目：中国农业科学院基本科研业务费（CAAS-ASTIP-2017-ISAPS）

作者简介：王 静（1991—），女，河南信阳人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: jingw1011@163.com

*通信作者：李光玉，研究员，博士生导师，E-mail: tcslgy@126.com

平为 4 100 IU/kg 时最高。3）饲粮钙水平对育成期水貂的氮沉积有显著影响（P<0.05），且氮沉积呈现随饲粮钙水平的升高而增加的趋势，以钙水平为 3.1%时最高。饲粮维生素 D 水平对育成期水貂的净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值有显著影响(P<0.05)，且均以维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时最高。饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂的净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值均有显著的交互作用（P＜0.05），二者以Ⅷ组最高。综合各项指标，在本试验条件下，饲粮中钙磷比为 2、维生素 D 水平为 4 100 IU/kg、钙水平为 3.1%时，育成期水貂可以获得较好的生长性能、较高的营养物质消化率及氮利用率。

关键词：维生素 D；钙；磷；水貂；生长性能；氮代谢

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

水貂是经济价值较高的珍贵毛皮动物，维生素 D 和钙、磷的摄入对水貂骨骼代谢、生长性能起着十分重要的作用，是提高水貂生长性能和毛皮品质的重要因素。维生素 D 在钙、磷吸收的过程中十分关键，具有决定性的调节作用。而钙、磷是维持毛皮动物代谢的重要元素，也是维持骨骼正常代谢不可或缺的常量元素。饲粮中钙、磷和维生素 D 水平过高容易导致毛皮动物代谢疾病或产生毒副作用，过低则不能满足毛皮动物生长发育的需求，精准确定水貂饲粮中维生素 D 及钙的水平对水貂生产实践具有重要的指导意义。Bassett 等[1]指出水貂在骨骼发育时，每天每只维生素 D 的添加剂量不少于 40 IU。Leoschke 等[2]指出水貂饲粮每千克干物质中维生素 D 含量应不少于 400 IU。Hilleman[3]研究表明，从 7 月到打皮时期，水貂饲粮干物质中维生素 D 含量为 10 000、25 000 和 40 000 IU/kg 时毛皮品质没有显著差异。Helgebostad 等[4]研究表明，饲粮干物质中维生素 D 含量在 5 000 IU/kg 时对水貂没有毒性作用，当维生素 D 剂量超过 100 000 IU/kg 时，在短时间内即出现毒性作用，Perel’dik 等[5]得出了同样的结论。Mertin 等[6]测定了水貂养殖场中饲粮钙水平，发现饲粮钙水平为 3.4%时对水貂的生长性能没有负面影响。Basset 等[7]研究表明，在饲粮维生素 D 水平为 820 IU/kg、钙磷比在 0.75~1.70 范围内时，水貂对鲜饲料中钙的需要量为 0.3%，Rimeslatten[8]却在同等

条件下得出钙的需要量为0.4%~1.0%。国内对水貂营养的研究以及养殖场实际配料时，饲粮钙水平不一，在2.30%~3.91%不等[9-11]。饲粮中钙磷比影响水貂对钙、磷2种元素的吸收。Jøergensen[12]指出水貂每天需摄入100 IU维生素D，饲粮适宜的钙磷比为0.75~1.70。中华人民共和国行业标准《水貂配合饲粮》推荐钙磷比为1~2[13]。从提高育成期水貂的生长性能和营养物质消化率的角度考虑，刘帅等[14]建议饲粮中磷水平为1.4%~1.8%，钙磷比为1.5~2.0。目前国内外在水貂维生素D和钙、磷需要方面做了大量研究，但试验数据年份比较早，且研究中维生素D水平范围比较大。近些年，由于进化及驯化的影响，水貂体重差异较大，对维生素D和钙的需要量也不同。因此，探究水貂饲粮精准的维生素D和钙水平显得尤为重要。本试验通过固定饲粮钙磷比，配制不同维生素D、钙水平的饲粮，研究饲粮不同维生素D和钙水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响，以筛选出适宜育成期水貂的饲粮维生素D和钙水平，为完善水貂营养标准奠定基础，为水貂的科学饲养提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验动物

饲养试验地点为农业部长白山野生生物资源重点野外科学观测试验站。选取（60±5）日龄健康短毛黑公水貂117只，随机分成9组（Ⅰ～Ⅸ组），且同窝水貂不在同一组内以消除遗传因素带来的影响，每组13个重复，每个重复1只，各重复之间水貂初始体重差异不显著（P>0.05）。

1.2　试验设计与试验饲粮

试验采用3×3双因素随机试验设计，饲粮钙磷比固定为2，设3个维生素D（维生素D_3形式）水平(2 100、4 100和6 100 IU/kg）和3个钙水平(2.30%、2.70%和3.10%)。参考NRC(1982)[15]以及相关文献[16-17]中关于水貂育成期各营养物质需要量，以黄花鱼、鸡骨架、鸡头、鸡腺胃、鸡肝、膨化玉米粉为原料，共配制9种育成期水貂试验饲粮，其组成及营养

水平见表 1。I 组水貂饲喂含 2.30%钙与 2 100 IU/kg 维生素 D 的饲粮，II 组水貂饲喂含 2.30%钙与 4 100 IU/kg 维生素 D 的饲粮，III组水貂饲喂含 2.30%钙与 6 100 IU/kg 维生素 D 的饲粮，Ⅳ组水貂饲喂含 2.70%钙与 2 100 IU/kg 维生素 D 的饲粮，V 组水貂饲喂含 2.70%钙与 4 100 IU/kg 维生素 D 的饲粮，Ⅵ组水貂饲喂含 2.70%钙与 6 100 IU/kg 维生素 D 的饲粮，Ⅶ组水貂饲喂含 3.10%钙与 2 100 IU/kg 维生素 D 的饲粮，Ⅷ组水貂饲喂含 3.10%钙与 4 100 IU/kg 维生素 D 的饲粮，Ⅸ组水貂饲喂含 3.10%钙与 6 100 IU/kg 维生素 D 的饲粮。饲粮钙水平通过沸石粉和磷酸氢钙调节，维生素 D 以维生素 D_3 形式添加，购自浙江新维普添加剂有限公司。

预试期 13 d，正试期 60 d。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	组别 Groups								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
原料 Ingredients									
黄花鱼 Corvina	28.04	28.04	28.04	28.04	28.04	28.04	28.04	28.04	28.04
鸡骨架 Chicken skeleton	11.89	11.89	11.89	11.89	11.89	11.89	11.89	11.89	11.89
鸡头 Foxnut	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34
鸡腺胃 Proventriculus	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57
鸡肝 Chicken liver	7.28	7.28	7.28	7.28	7.28	7.28	7.28	7.28	7.28
膨化玉米粉 Extruded corn	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
沸石粉 Zeolite powder	4.00	4.00	4.00	2.39	2.39	2.39	0.74	0.74	0.74
磷酸氢钙 $CaHPO_4$				1.41	1.41	1.41	2.77	2.77	2.77
石粉 Limestone				0.20	0.20	0.20	0.49	0.49	0.49
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]									
代谢能 ME/（MJ/kg）	16.35	16.35	16.35	16.35	16.35	16.35	16.35	16.35	16.35
粗蛋白质 CP	35.54	35.54	35.54	35.54	35.54	35.54	35.54	35.54	35.54
粗脂肪 EE	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98
碳水化合物 Carbohydrate	39.96	39.96	39.96	39.96	39.96	39.96	39.96	39.96	39.96
钙 Ca	2.31	2.29	2.30	2.69	2.71	2.70	3.11	3.10	3.11
总磷 TP	1.15	1.16	1.14	1.36	1.35	1.36	1.56	1.55	1.55
钙磷比 Ca/P ratio	2.01	1.97	2.02	1.98	2.01	1.99	1.99	2.00	2.01
维生素 D VD/(IU/kg)	2 099	4 102	6 108	2 103	4 100	6 101	2 107	4 106	6 105

1)预混料为每千克饲粮提供 VA 10 000 IU，VE 60 mg，VK_3 1.6 mg，VB_1 20 mg，VB_2 10

mg，VB_6 10 mg，VB_{12} 0.1 mg，烟酸 nicotinic acid 40 mg，泛酸 pantothenic acid 20 mg，叶酸 folic acid 1 mg，生物素 biotin 0.5 mg，Fe 80 mg，Zn 60 mg，Mn 15 mg，Cu 10 mg，I 0.5 mg，Se 0.2 mg，Co 0.3 mg。

2) 代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.3 饲养管理

试验开始前，对水貂接种犬瘟热和细小病毒疫苗。试验水貂均单笼饲养，每日 07:30 与 15:30 各饲喂 1 次，自由饮水，每日记录实际采食量。正式试验开始后，每日观察并记录试验水貂的健康状况。

1.4 消化代谢试验

消化代谢试验于 2016 年 8 月 16 日至 2016 年 8 月 18 日进行，共计 3 d，采用全收粪法。消化代谢试验期间饲养管理与日常饲养管理相同。每天收集尿液，尿液收集前在收集桶内加入 10%硫酸 20 mL 固氮，测定尿液中的氮含量。每天收集的粪便称重后按鲜重的 5%加入 10%硫酸溶液，并加少量甲苯防腐，保存于-20 ℃备用。将 3 d 的尿液和粪便分别混合均匀后取样，其中粪便先在 80 ℃下杀菌 2 h，然后降到 65 ℃烘干至恒重，磨碎过 40 目筛，制成风干样本，以备实验室分析。

1.5 测定指标及方法

正试期开始后，以第 1 天称重作为初重，然后每隔 15 d 在早晨饲喂之前空腹称重，以试验结束后称重作为末重，计算每只水貂的日增重以及每组的平均日增重；记录每只水貂每天的给料量和残余料量，计算每只水貂的采食量以及每组的平均日采食量。测定基础饲粮、粪便等样品的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、钙、磷含量[18]。维生素 D 水平参照 GB/T 17818-2010 采用高效液相色谱法检测。

某种营养物质消化率（%）= [（某种营养物质摄入量－粪中某种营养物质总量）/某种

营养物质摄入量］×100；

碳水化合物含量=干物质含量－粗蛋白质含量－粗脂肪含量－粗灰分含量；

氮沉积(g/d)=食入氮-粪氮-尿氮；

净蛋白质利用率(%)=(氮沉积/食入氮)×100；

蛋白质生物学价值（%）=［氮沉积/（食入氮－粪氮）］×100；

1.6 数据处理

结果以“平均值±标准差”表示，数据用 Excel 2010 进行整理并用 SAS 9.4 软件中的一般线性模型（GLM）程序进行有交互作用的双因素方差分析(two-way ANOVA)，并采用 Duncan 氏法进行多重比较，$P<0.05$ 为差异显著，$P<0.01$ 为差异极显著。

2 结 果

2.1 饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂生长性能的影响

由表 2 可知，育成期水貂的末重、平均日增重、料重比组间存在极显著差异（$P<0.01$），以Ⅷ组末重、平均日增重最大，料重比最小。饲粮钙水平对育成期水貂的末重、平均日增重、料重比有极显著的影响（$P<0.01$）。随着钙水平的升高，末重、平均日增重呈现逐渐上升的趋势，且钙水平为 2.3%时极显著低于钙水平为 3.1%时（$P<0.01$）；料重比则呈现逐渐下降的趋势，且钙水平为 2.3%时极显著高于钙水平为 2.7%和 3.1%时（$P<0.01$）。饲粮维生素 D 水平对育成期水貂的末重、平均日增重、料重比有极显著的影响（$P<0.01$）。饲粮维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时，末重、平均日增重显著高于维生素 D 水平为 2 100 和 6 100 IU/kg 时（$P<0.05$），而料重比极显著低于维生素 D 水平为 2 100 和 6 100 IU/kg 时（$P<0.01$）。饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂料重比有极显著的交互作用（$P<0.01$）。

表 2 饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary VD and Ca levels on growth performance of growing minks

项目 Items	初重 Initial weight/g	末重 Final weight/g	平均日增重 ADG/(g/d)	平均日采食量 ADFI/(g/d)	料重比 F/G

组别 Groups	Ⅰ	1048.86±55.46	1 959.80±191.06^Bc	16.66±0.94^Bc	114.64±4.71	12.99±0.78^Aa
	Ⅱ	1045.80±77.17	2 015.88±190.36^Bbc	17.99±1.71^ABabc	110.18±6.38	10.24±0.37^CDbc
	Ⅲ	1047.50±54.03	1 970.25±107.50^Bc	17.12±0.83^ABbc	115.36±7.55	11.92±0.55^ABa
	Ⅳ	1051.60±78.79	2 071.89±142.96^ABbc	18.05±1.29^ABabc	109.52±5.62	10.09±0.69^CDbc
	Ⅴ	1046.29±94.81	2 166.22±129.46^ABab	18.76±1.43^ABab	115.28±6.31	9.52±0.43^CDc
	Ⅵ	1047.43±54.26	1 976.00±76.30^Bc	16.92±1.18^Bbc	116.14±7.37	12.08±0.80^ABa
	Ⅶ	1045.50±87.98	2 059.13±135.28^ABbc	18.34±1.37^ABabc	115.87±9.90	9.94±0.89^CDbc
	Ⅷ	1051.33±44.09	2 253.88±128.72^Aa	19.55±1.70^Aa	109.58±9.11	9.01±0.54^Dc
	Ⅸ	1047.14±69.62	2 095.10±99.42^ABbc	17.96±0.94^ABabc	111.23±4.82	10.77±0.75^BCb
钙水平 Ca level/%	2.3	1047.56±57.85	1 985.14±157.02^Bb	17.25±1.24^Bb	113.79±6.27	11.60±1.21^Aa
	2.7	1048.83±74.48	2 087.96±141.58^ABa	18.05±1.49^ABab	113.73±6.78	10.57±1.30^Bb
	3.1	1048.24±62.31	2 132.88±142.54^Aa	18.68±1.50^Aa	112.42±8.36	9.99±1.01^Bb
维生素 D 水平 VD level/%	2 100	1049.52±69.87	2 041.77±151.47^ABb	17.54±1.32^Bb	113.48±7.45	10.76±1.53^Ab
	20004 100	1047.83±71.78	2 146.16±175.12^Aa	18.85±1.63^Aa	112.07±7.50	9.59±0.66^Bc
	6 100	1047.35±56.82	2 025.78±112.46^Bb	17.39±1.03^Bb	114.24±6.67	11.55±0.88^Aa
P 值 *P*-value	组别 Group	1.000 0	0.001 1	0.009 1	0.482 3	<0.000 1
	钙水平 Ca level	0.998 9	0.001 8	0.009 3	0.805 7	0.000 2
	维生素 D 水平 VD level	0.998 3	0.003 5	0.004 7	0.668 2	<0.000 1
	交互作用 Interaction	0.999 8	0.400 0	0.734 3	0.191 2	0.015 4

同列同一项目数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（*P*>0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），不同大写字母表示差异极显著（*P*<0.01）。下表同。

In the same column and the same item, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (*P*<0.01). The same as below.

2.2 饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂营养物质消化率的影响

由表 3 可知，育成期水貂的干物质排出量、脂肪消化率组间存在极显著差异（*P*<0.01），干物质消化率组间存在显著差异(*P*<0.05)，以Ⅷ组干物质排出量最低，干物质消化率最高，

脂肪消化率则以Ⅱ组最高。饲粮钙水平极显著影响脂肪消化率(*P*<0.01)，显著影响干物质排出量(*P*<0.05)。钙水平为 3.1%时脂肪消化率极显著低于钙水平为 2.3%和 2.7%时（*P*＜0.01）；钙水平为 3.1%时干物质排出量显著高于钙水平为 2.7%时(*P*<0.05)。饲粮维生素 D 水平极显著影响干物质排出量(*P*<0.01)，显著影响干物质消化率和脂肪消化率(*P*<0.05)。维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时干物质排出量极显著低于维生素 D 水平为 2 100 和 6 100 IU/kg 时（*P*＜0.01），同时干物质消化率显著低于维生素 D 水平为 2 100 和 6 100 IU/kg 时（*P*＜0.05）；此外，维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时脂肪消化率显著高于维生素 D 水平为 2 100 IU/kg 时（*P*＜0.05）。饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂脂肪消化率有极显著的交互作用（*P*＜0.01）。饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂的干物质采食量、蛋白质消化率、碳水化合物消化率均无显著影响（*P*>0.05），但蛋白质消化率、碳水化合物消化率、脂肪消化率都有随维生素 D 水平的升高先增加再降低的二次变化趋势，且均以维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时最高。

表 3　饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂营养物质消化率的影响

Table 3　Effects of dietary VD and Ca levels on nutrient digestibility of growing minks

项目 Items		干物质采食量 DM intake/g	干物质排出量 DM output/g	干物质消化率 DM digestibility/%	蛋白质消化率 Protein digestibility/%	脂肪消化率 Fat digestibility/%	碳水化合物消化率 Carbohydrate digestibility/%
组别 Groups	Ⅰ	112.43±3.89	23.34±1.74^{ABCDabc}	79.05±2.02^{Bb}	87.49±2.00	93.65±1.55^{ABcd}	81.66±1.98
	Ⅱ	114.89±7.21	21.53±0.36^{CDcd}	79.14±1.73^{Bb}	87.20±1.87	96.06±1.68^{Aa}	81.46±1.62
	Ⅲ	112.80±4.73	25.09±1.00^{Aa}	78.31±1.65^{Bb}	86.80±2.94	94.85±1.04^{ABabc}	80.76±1.71
	Ⅳ	108.44±5.54	21.93±1.49^{BCDbcd}	79.59±1.65^{ABb}	87.74±1.65	95.70±1.64^{Aab}	81.28±2.00
	Ⅴ	115.36±4.33	21.46±1.30^{CDd}	80.32±2.96^{ABab}	88.10±2.45	95.59±1.45^{Aab}	80.46±2.34
	Ⅵ	114.03±5.87	23.66±1.31^{ABCab}	78.99±1.96^{Bb}	87.04±1.58	93.99±2.29^{ABbcd}	80.83±1.88
	Ⅶ	114.74±5.80	24.86±1.76^{Aa}	78.26±1.56^{Bb}	86.33±1.67	91.13±0.92^{Ce}	80.91±1.65
	Ⅷ	106.93±4.02	21.02±0.36^{Dd}	82.13±1.64^{Aa}	87.84±1.39	92.92±1.76^{BCd}	82.90±1.88
	Ⅸ	112.70±3.58	24.27±0.60^{ABa}	79.35±1.33^{ABb}	87.14±0.95	94.63±1.84^{ABabcd}	80.06±0.94
钙水平	2.3	113.33±5.04	23.32±1.87^{ab}	78.86±1.76	87.16±2.24	94.91±1.64^{Aa}	81.25±1.69

Ca level/%	2.7	112.61±5.80	22.49±1.60^{b}	79.64±2.27	87.62±1.91	95.14±1.88^{Aa}	80.92±1.93
	3.1	112.15±5.28	23.74±1.91^{a}	79.89±2.17	87.10±1.46	93.23±2.12^{Bb}	81.33±1.93
维生素D水平 VD level/%	2 100	111.83±5.58	23.38±2.02^{Aa}	78.90±1.75^{b}	87.19±1.82	93.75±2.33^{b}	81.28±1.80
	4 100	113.10±6.15	21.37±0.69^{Bb}	80.41±2.41^{a}	87.71±1.91	94.92±2.06^{a}	81.80±2.03
	6 100	113.18±4.50	24.34±1.12^{Aa}	78.91±1.63^{b}	86.99±1.93	94.53±1.71^{ab}	80.55±1.53
*P*值 *P*-value	组别 Group	0.277 5	<0.000 1	0.012 2	0.644 6	<0.000 1	0.209 9
	钙水平 Ca level	0.841 2	0.039 1	0.169 8	0.552 7	<0.000 1	0.761 8
	维生素D水平 VD level	0.761 8	<0.000 1	0.010 5	0.368 1	0.032 7	0.108 4
	交互作用 Interaction	0.072 3	0.065 7	0.096 8	0.594 0	0.001 0	0.202 1

2.3 饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂氮代谢的影响

由表 4 可知，育成期水貂的食入氮、粪氮、尿氮组间不存在显著差异（*P*>0.05），氮沉积组间存在极显著差异（*P*＜0.01），以Ⅷ组最高，Ⅰ组最低，Ⅷ组显著高于其他各组（*P*＜0.05）。此外，蛋白质利用率组间存在极显著的差异（*P*<0.01），Ⅷ组极显著高于Ⅲ、Ⅸ组（*P*＜0.01）；蛋白质生物学价值组间存在显著差异(*P*<0.05)，Ⅷ组显著高于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅸ组（*P*＜0.05）。饲粮钙水平极显著影响氮沉积（*P*＜0.01），且氮沉积随钙水平的升高呈现增加的趋势，钙水平为 3.1%时极显著高于钙水平为 2.3%时（*P*＜0.01）。饲粮钙水平对食入氮、粪氮、尿氮、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值均无显著影响（*P*>0.05）。维生素 D 水平对食入氮、粪氮、尿氮均无显著影响（*P*>0.05），对氮沉积有极显著的影响（*P*＜0.01），对净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值有显著影响(*P*<0.05)。氮沉积、净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值均呈现随维生素 D 水平的升高而先增高后降低的二次趋势，其中氮沉积表现为维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时极显著高于维生素 D 水平为 2 100 和 6 100 IU/kg 时(*P*<0.01)，

净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值均表现为维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时显著高于维生素 D 水平为 2 100 和 6 100 IU/kg 时(P<0.05)。饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂的氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值均有显著的交互作用（P＜0.05）。

表 4　饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂氮代谢的影响

Table 4　Effects of dietary VD and Ca levels on nitrogen metabolism of growing minks

项目 Items		食入氮 Nitrogen intake/（g/d)	粪氮 Fecal nitrogen/（g/d)	尿氮 Urine nitrogen/（g/d)	氮沉积 Nitrogen deposition/（g/d)	净蛋白质利用率 NPU/%	蛋白质生物学价值 BV of protein/%
组别 Groups	Ⅰ	6.21±0.53	0.81±0.13	1.89±0.27	3.37±0.36^{Bc}	56.54±3.58^{ABbc}	64.74±3.69^{bc}
	Ⅱ	5.88±0.74	0.77±0.15	1.79±0.55	3.45±0.01^{Bbc}	57.63±5.44^{ABbc}	66.21±5.87^{bc}
	Ⅲ	6.55±0.62	0.90±0.26	2.05±0.46	3.61±0.30^{Bbc}	55.66±3.87^{Bbc}	64.51±4.76^{bc}
	Ⅳ	6.35±0.48	0.80±0.16	1.72±0.31	3.77±0.36^{Bbc}	60.16±3.98^{ABab}	68.51±4.77^{ab}
	Ⅴ	6.81±0.54	0.83±0.19	2.24±0.54	3.97±0.33^{ABb}	56.29±5.64^{ABbc}	63.86±5.16^{bc}
	Ⅵ	6.31±1.00	0.86±0.17	1.85±0.69	3.48±0.43^{Bbc}	58.48±4.67^{ABabc}	67.08±4.90^{ab}
	Ⅶ	6.60±0.70	0.91±0.18	1.78±0.82	3.79±0.35^{Bbc}	58.25±4.69^{ABabc}	67.41±5.33^{ab}
	Ⅷ	6.48±0.61	0.85±0.09	1.57±0.76	4.45±0.41^{Aa}	63.66±5.85^{Aa}	72.57±6.39^{a}
	Ⅸ	6.45±0.42	0.84±0.07	2.19±0.23	3.40±0.28^{Bc}	52.92±3.05^{Bc}	60.69±3.11^{c}
钙水平 Ca level/%	2.3	6.23±0.65	0.83±0.19	1.91±0.43	3.50±0.30^{Bb}	56.61±4.23	65.15±4.67
	2.7	6.48±0.69	0.83±0.16	1.93±0.53	3.76±0.39^{ABa}	58.53±4.70	66.72±5.02
	3.1	6.51±0.54	0.87±0.12	1.88±0.65	3.89±0.57^{Aa}	58.28±6.31	66.29±6.74
维生素 D 水平 VD level/%	2 100	6.38±0.56	0.84±0.15	1.80±0.49	3.63±0.39^{Bb}	58.31±4.18^{ab}	66.88±4.70^{ab}
	4 100	6.36±0.72	0.81±0.14	1.86±0.64	4.03±0.50^{Aa}	59.50±6.27^{a}	67.39±6.53^{a}
	6 100	6.45±0.64	0.87±0.17	2.05±0.46	3.51±0.32^{Bb}	55.39±4.24^{b}	63.78±4.80^{b}
P 值 P-value	组别 Group	0.450 2	0.839 1	0.467 2	0.000 4	0.007 8	0.014 3
	钙水平 Ca level	0.341 9	0.681 3	0.966 9	0.009 7	0.363 2	0.592 8
	维生素 D 水平 VD level	0.908 8	0.669 0	0.334 8	0.002 6	0.023 9	0.047 9
	交互作用 Interaction	0.249 2	0.641 6	0.258 2	0.009 2	0.013 8	0.010 1

3 讨　论

3.1 饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂生长性能的影响

表 2 中结果显示，试验结束后不同组水貂平均日增重不一致，组间存在极显著差异，说

明不同的饲粮维生素 D 和钙水平对水貂的生长性能有一定影响，饲粮的钙水平和维生素 D 水平必须维持在一定范围内才能保证水貂的快速生长。王爽等[19]研究指出，饲粮钙、磷及维生素 D 水平对生长前期北京鸭的日采食量、日增体质量有显著的交互作用，而对其料重比无显著的交互作用。本研究中饲粮钙及维生素 D 水平对育成期水貂的料重比有显著的交互作用，对平均日增重和平均日采食量无显著的交互作用。冀红芹[20]研究表明，随着饲粮钙水平的升高，杜长大三元杂交仔猪平均日增重先升高后降低，与王晓宇等[21]、林映才等[22]在猪上的研究结果一致，说明在一定范围内，高钙能够提高猪的生长性能。维生素 D 又称抗佝偻病维生素，在动物体内能够促进钙和磷的吸收，为动物生长所必需。饲粮维生素 D 水平适宜会促进动物的生长，长期过量添加维生素 D 则会对动物机体造成毒副作用。Atencio 等[23]研究表明，维生素 D 可提高肉鸡采食量、体增重以及降低雏鸡死亡率，从而提高肉鸡的生长性能，与杨晓丹[24]的研究结果一致。而贾洪阁[25]研究发现，随着饲粮维生素 D 水平的升高，肉仔鸡体重出现先升高后下降的趋势，与本试验结果一致。在本试验条件下，随着饲粮钙水平的升高，水貂平均日增重呈现升高的趋势，说明高钙有利于提高育成期水貂的生长性能；钙水平为为 3.1%时水貂生长较快，这比前人的研究结果[7-8]高，可能是由水貂品种、大小以及饲粮钙磷比和维生素 D 水平不同所致，其机理有待于深入研究。与维生素 D 水平为 2 100 IU/kg 时相比，维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时提高了育成期水貂的平均日增重，当维生素 D 水平继续升高为 6 100 IU/Kg 时平均日增重反而降低，说明饲粮适宜的维生素 D 水平能够促进育成期水貂的生长，过高水平的维生素 D 反而不利于其生长。因此，饲粮钙水平为 3.4%、维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时育成期水貂的生长性能较佳。

3.2 饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂营养物质消化率的影响

研究表明，饲粮维生素 D 水平对 3～5 月龄獭兔的平均日采食量[26]、1～28 日龄蛋雏鸭[27]的日采食量均无显著影响，与本试验结果一致。本试验中，随着饲粮钙水平的升高，育成期水貂的干物质排出量先降低后升高，干物质消化率呈现出升高的趋势，这与水貂体重变

化的趋势是一致的。在钙磷比固定的情况下，钙水平升高即磷水平升高，Takeuchi 等[28]研究指出，磷参与 ATP 供能，使体内脂肪酸活化作用增强，磷的增加有助于增强β氧化、增加糖原生成，进而使脂肪沉积降低，蛋白质沉积增加。然而，过量的钙会在肠道中与脂肪酸形成不溶性的皂化物，使饱和脂肪消化率降低[14,29-30]。维生素 D 的主要生理功能是调节机体对钙、磷的吸收，维持血钙、血磷的正常水平。适量的维生素 D 可促进机体对钙、磷的吸收，但过量维生素 D 的摄入会对动物产生一定的毒性，动物表现为多尿、高尿钙、食欲下降甚至废绝，生长停滞[25]。本试验中，育成期水貂的脂肪消化率随饲粮钙水平的升高呈现先增加后降低的趋势，钙水平为 3.1%时的脂肪消化率比钙水平为 2.7%时降低 2%，与前人的研究结果一致。脂肪消化率随着维生素 D 摄入量的增加呈现先升高后降低的趋势，可能是由于适量的维生素 D 促进钙吸收，提高脂肪消化率，而过量的维生素 D 则引起血钙增加，多余的钙沉积在关节、血管、心脏、肠壁等部位，导致肝脏负荷工作，组织、器官退化和钙化，引起水貂脂肪消化率下降。饲粮钙和维生素 D 水平对育成期水貂的碳水化合物消化率无显著影响，各组平均碳水化合物消化率为 81.16%，高于张海华等[10]在水貂上所得结果，原因可能是本试验饲粮能量低于 NRC（1982）[15]推荐的 17.08 MJ/kg，动物为了满足能量需求而提高了碳水化合物的消化率，其机理有待深入研究。在本试验条件下，饲粮钙水平为 2.7%、维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时有利于育成期水貂获得较好的营养物质消化率。

3.3 饲粮维生素 D 和钙水平对育成期水貂氮代谢的影响

研究指出，饲粮粗蛋白质与磷水平之间并不存在显著的交互作用[31]。刘帅等[14]研究表明，不同钙、磷水平对育成期水貂粪氮、尿氮无显著影响，但随着饲粮磷水平的升高，氮沉积先升高后降低；饲粮磷水平的升高提高了氮的利用率，增加了净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值。Mudd 等[32]研究指出，氮沉积受饲粮磷水平的影响要大于饲粮钙水平。Vipperman 等[33]研究发现，高钙可以导致体内氮沉积下降，其主要原因是钙、磷、脂肪等作用形成皂素，抑制了部分氨基酸的作用。本试验条件下，随着饲粮钙水平的升高，氮沉积呈现一直上

升的趋势，这是由于本试验中最高钙水平在适宜钙水平范围内，与前人研究结果一致。饲粮钙水平对育成期水貂的净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值无显著影响，可能是因为试验中在钙磷比一定的情况下，磷梯度变化不大。氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值随维生素 D 水平的升高先增高后降低，可能是由于适量的维生素 D 促进了磷的吸收，提高了氮的利用率，而过量的维生素 D 使血钙、血磷增加，导致氮的利用率降低。在本试验条件下，钙水平为 3.4%、维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时育成期水貂对氮的利用率最高。

4 结　论

综合各项指标，在本试验条件下，饲粮中钙磷比为 2、维生素 D 水平为 4 100 IU/kg、钙水平为 3.1%时，育成期水貂可以获得较好的生长性能、较高的营养物质消化率及氮利用率。

参考文献

[1] BASSETT C F,HARRIS L E,WILKE C F.Effect of various levels of calcium,phosphorus and vitamin D intake on bone growth[J].Journal of Nutrition,1951,44(3):433–442.

[2] LEOSCHKE W L,ELVEHJEM C A.The thiamine requirement of the mink for growth and fur development[J].Journal of Nutrition,1959,69(3):211–213.

[3] HILLEMAN G.Forsoeg med fiskeolie og vitamin D[J].Dansk Pelsdyravl,1978,41:245

[4] HELGEBOSTAD A, NORDSTOGA K.Hypervitaminosis D in fur-bearing animals[J].Nordisk Veterinaermedicin,1978,30(10):451-455.

[5] PEREL’DIK N S,MILOVANOV L V,ERIN A T.The feeding of fur-bearing animals[M]. Translated from russian by the agricultural research service.Washington,D.C.：US Dept of Agriculture and National Science Foundation,1972:344.

[6] MERTIN D,SÜVEGOVÁ K,POLÁČIKOVÁ M,et al.Contents of some micro-elements in diets for farm minks (*Mustela vison*)[J].Czech Journal of Animal Science,2000,45(10):469–474.

[7] BASSET C F,TRAVIS H E,WARNER R G,et al.Stilbesterol and reproduction[J].America Fur Breeder,1957,30(1):10.

[8] RIMESLATTEN H.Trials with vitamins, animal liver and trace elements for silver fox,blue fox and mink.[J].Dansk Pelsdyravl,1959,22:273-276.

[9] 万春孟,张铁涛,吴学壮,等.饲粮 *L*-精氨酸添加水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响[J].动物营养学报,2015,27(8):2607–2613.

[10] 张海华,张铁涛,刘晓颖,等.不同饲粮蛋白质和脂肪水平对育成期雄性水貂生长性能及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(10):3248–3255.

[11] 吴学壮,刘志,郭俊刚,等.饲粮铜、锌含量及其互作效应对育成期水貂生长性能、营养物质表观消化率及铜、锌和氮代谢的影响[J].动物营养学报,2015,27(8):2597–2606.

[12] JØERGENSEN G,HANSEN N G.Forsög med forskellige proteinmaengder til mink[J].Dansk Pelsdyravl,1972,35:15–23.

[13] 顾华孝.SB/T 1007-92 水貂配合饲粮[S].南京:江苏省饲料监察所,2001.

[14] 刘帅,李欣彤,邢敬亚,等.饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮、钙、磷代谢的影响[J].动物营养学报 2016,28(12):3836–3845.

[15] NRC.Nutrient requirements of mink and foxes[S].Washington,D.C.:National Academy Press,1982.

[16] 吴学壮.水貂饲粮适宜铜源及铜水平研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2015.

[17] 张铁涛,崔虎,杨颖,等.饲粮蛋白质水平对育成期母貂生长性能、营养物质消化代谢及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(05):835-844.

[18] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007.

[19] 王爽,侯水生,谢明,等.不同钙磷水平及维生素 D 对生长前期北京鸭生产性能、血液生化指标及胫骨指标的影响[J].畜牧兽医学报,2010,41(11):1414–1420.

[20] 冀红芹.日粮不同钙水平对仔猪钙代谢及破骨细胞活性的影响[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2013.

[21] 王晓宇,孙会,苏月娟,等.30～60 kg 生长猪钙需要量研究[J].动物营养学报,2012,24(7):1216–1223.

[22] 林映才,蒋宗勇.生长肥育猪有效磷需要量的研究[J].养猪,2002(4):1–7.

[23] ATENCIO A,PESTI G M,EDWARDS H M,Jr,et al.Twenty-five hydroxycholecalciferol as a cholecalciferol substitute in broiler breeder hen diets and its effect on the performance and general health of the progeny[J].Poultry Science,2005,84(8):1277–1285.

[24] 杨晓丹.1α-OH-D_3 对肉鸡生长性能、胫骨与血浆指标、肉品质及养分利用的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2008.

[25] 贾洪阁.肉仔鸡日粮中 HyD(25-OH-D_3),VD_3 适宜添加量的研究[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2007.

[26] 李万佳.日粮维生素 D 添加水平对獭兔生长性能、钙磷代谢、血液指标、免疫及抗氧化功能的影响[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2014.

[27] 解俊美,王安.饲粮维生素 D 添加水平对蛋雏鸭免疫及抗氧化功能的影响[J].2012,24(9):1819–1824.

[28] TAKEUCHI M,NAKAZOE J.Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp[J].Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries,1981,47(3):347–352.

[29] ROUVINEN K,KHSKINEN T.High dietary ash content decreases fat digestibility in the mink[J].Acta Agriculture Scandinavica,1991,41(4):375–386.

[30] ATTEH J O,LEESON S.Influence of age,dietary cholic acid,and calcium levels on performance ,utilization of free fatty acids,and bone mineralization in broilers[J].Poultry

Science,1985,64(10):1959–1971.

[31] CROMWELL G L.Reduce the excretion of phosphorus and nitrogen by regulating diets[C]//Proceedings of the 14th IPV S Congress.Bologna:[s.n.],1996:418.

[32] MUDD A J,SMITH W C,ARMSTRONG D G.The influence of dietary concentration of calcium and phosphorus on their retention in the body of the growing pig[J].The Journal of Agricultural Science,1969,73(2):189–196.

[33] VIPPERMAN P E,Jr,PEO E R,Jr,CUNNINGHAM P J.Effect of dietary calcium and phosphorus level upon calcium,phosphorus and nitrogen balance in swine[J].Journal of Animal Science,1974,38(4):758–765.

Effects of Dietary Vitamin D and Calcium Levels on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Nitrogen Metabolism of Growing Minks

WANG Jing[1] ZHANG Haihua[1] XU Yinan[1] LI Rende[1] ZHANG Xuelei[1]

CUI Hu[2] NIE Hao[2] LI Guangyu[1]*

(1. *State Key Laboratory of Molecular Biology of Special Economic Animals, Institute of Special Wild Economic Animals and Plants, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun* 130112*, China*; 2. *Institute of Feed Research, Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing* 100081*, China)*

Abstract: The aim of this experiment was to investigate the effects of dietary vitamin D and calcium levels on growth performance, nutrient digestibility and nitrogen metabolism of growing mink at a fixed ratio of calcium to phosphorus. One hundred and seventeen healthy short black male minks at the age of（60±5） days with the similar body weight were randomly divided into 9 groups with 13 replicates per group and 1 mink per replicate. Nine experimental diets were formulated by using 3×3 double factorial experiment design. Dietary calcium to phosphorus ratio was fixed at 2:1, and three vitamin D levels were 2 100, 4 100 and 6 100 IU/kg, respectively, while three calcium levels were 2.3%, 2.7% and 3.1%, respectively. The levels of calcium and

*Corresponding author, professor, E-mail: tcslgy@126.com (责任编辑 菅景颖)

vitamin D in the 9 diets were 2.1% and 2 100 IU/kg (group Ⅰ), 2.1% and 4 100 IU/kg (group Ⅱ), 2.1% and 6 100 IU/kg (group Ⅲ), 2.7% and 2 100 IU/kg (group Ⅳ), 2.7% and 4 100 IU/kg (group Ⅴ), 2.7% and 6 100 IU/kg (group Ⅵ), 3.1% and 2 100 IU/kg (group Ⅶ), 3.1% and 4 100 IU/kg (group Ⅷ), 3.1% and 6 100 IU/kg (group Ⅸ), respectively. The pre-trial lasted for 13 days, and the formal trial lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) Dietary vitamin D and calcium levels had extremely significant effects on the final weight, average daily gain and feed/gain ($P<0.01$), and the final weight and average daily gain was the highest in group Ⅷ, the lowest in group Ⅰ, feed/gain ratio was just the opposite. 2) There was an extremely significant difference in the fat digestibility of growing minks among groups ($P<0.01$), and the fat digestibility in groups Ⅱ, Ⅳ and Ⅴ was extremely significantly higher than those in groups Ⅶ and Ⅷ ($P<0.01$). The dry matter output of growing minks was significantly affected by the dietary calcium level ($P<0.05$), and it reached the highest when the dietary calcium level was 3.1%. The fat digestibility of growing minks was extremely significantly affected by the dietary calcium level ($P<0.01$), and it was extremely significantly lower when the dietary calcium level was 3.1% than that when the dietary calcium level was 2.3% and 2.7% ($P<0.01$). Dietary vitamin D level extremely significantly affected the dry matter output of growing minks ($P<0.01$), and it reached the lowest when the dietary vitamin D level was 4 100 IU/kg. Dietary vitamin D level significantly affected the dry matter digestibility and fat digestibility of growing minks ($P<0.05$), and both of them reached the highest when the dietary vitamin D level was 4 100 IU/kg. 3) Dietary calcium level had a significant effect on the nitrogen deposition of growing minks ($P<0.05$). And nitrogen deposition showed a tendency to increase with the increase of dietary calcium level, and it was the highest at the 3.1% calcium level. Dietary vitamin D level had significant effects on net protein utilization and protein biological value of growing minks ($P<0.05$), and both of them reached the highest when the dietary vitamin D level was 4 100 IU/kg. Dietary vitamin D and calcium levels had significant interaction effects on the net protein utilization and protein biological value of growing minks ($P<0.05$), and the highest values of them were found in the group Ⅷ. Comprehensive analysis of various indicators, when the dietary calcium to phosphorus ratio of is 2: 1, the vitamin D level is 4 100 IU/kg, and the calcium level is 3.1%, growing minks can get the better growth performance, and the higher nutrient digestibility and nitrogen utilization in the present study.

Key words: vitamin D; calcium; phosphorus; mink; growth performance; nitrogen metabolism